

DOI: 10.25558/VOSTNII.2025.73.13.005

УДК: 622.-1/4:622.23.05:622.333:622.8:504.05/06:504.75

© А. В. Ремезов, А. В. Адамков, Р. Р. Зайнулин, 2025

А. В. РЕМЕЗОВ

д-р техн. наук,
профессор кафедры
КузГТУ, г. Кемерово
e-mail: lion742@mail.ru

А. В. АДАМКОВ

к-т техн. наук,
доцент кафедры
КузГТУ, г. Кемерово
e-mail: aav_75@mail.ru

Р. Р. ЗАЙНУЛИН

старший преподаватель
КузГТУ, г. Кемерово
e-mail: zrr66@mail.ru

УЧАСТИЕ ТОНКОДИСПЕРСНОЙ УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ ВО ВЗРЫВЕ ГАЗА МЕТАНА И УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ

В данной статье кратко излагаются результаты проведённых нами исследований участия угольной пыли и ее тонкодисперсного состава во взрывах газа метана на угольных шахтах России и других стран. На основании полученных результатов, произведенных исследованием, предлагается новая технология и схема комбинированного проветривания тупикового забоя при проведении горной выработки проходческим комбайном.

Ключевые слова: УГОЛЬНАЯ ШАХТА, ТУПИКОВЫЙ УГОЛЬНЫЙ ЗАБОЙ, СХЕМА ПРОВЕТРИВАНИЯ, БУРЕНИЕ СКВАЖИН НА ГРАНИЦЕ РАЗНЫХ СРЕД, ТОНКОДИСПЕРСНАЯ УГОЛЬНАЯ ПЫЛЬ.

Для проветривания тупиковых забоев правилами безопасности (ПБ) определены несколько схем их проветривания [1]. Выработки длиной 10 и более метров проветриваются нагнетательным способом при помощи местных вентиляторов, на газовых шахтах согласно ПБ применяется только нагнетательный способ проветривания тупиковых выработок. Воздушная струя от вентилятора в забой подаётся при помощи вентиляционных труб. Расстояние от конца вентиляционной трубы до плоскости забоя не должно превышать 8 м.

Проходка выработки комбайном по угольному пласту производится механическим способом его разрушения, при этом образуется

значительное количество угольной пыли, которая в большом объёме содержит мелкодисперсную пыль в зависимости от качества разрушаемого угля.

В данной статье мы рассмотрим причину образования угольной пыли в забое, проводимом по угольному пласту проходческим комбайном с рабочим органом избирательного действия.

В зависимости от строения угольного пласта, чисто угольный пласт или угольный пласт с различными породными прослойками различного качества по минералогическому составу, определяется опасность угольной пыли по взрываемости, а также по воздействию на

дыхательные органы работающих в забое людей. В результате этого развиваются такие болезни как пневмония, пневмомикоз, астма, и другие болезни дыхательных путей, которые в обиходе называют «чёрные легкие». Угольная пыль также представляет не только значительную угрозу здоровью людей, но и флоре, фауне. Ее частицы содержат также некоторые токсичные вещества и канцерогены, которые вызывают и смертельные случаи. Частицы угольной пыли размером 10 н.м не обеспечивают полную защиту с помощью имеющихся индивидуальных средств защиты. В связи с этим, возникает необходимость в более частой замене фильтрующих элементов в данных устройствах. Угольная пыль обладает способностью не только загораться, но также взрываться. Когда к угольной пыли добавляется инертная пыль, это приводит к снижению ее взрывоопасности. Концентрация угольной пыли в рабочей зоне не должна превышать более 300 м.к.м. При работе проходческого комбайна с рабочим органом избирательного действия, в зоне разрушения угля она может достигать 300–400 г\м.куб. Скорость взрывной волны от ее взрыва достигает 1000 м/сек. Самый сильный взрыв происходит при 300–400 г/м.куб. Сухая тонкая угольная пыль может взрываться при содержании метана менее 5%. При взрыве в смеси с метаном ее температура достигает 700–800 градусов по Цельсию. В исключительных случаях угольная пыль с высокой дисперсией и определённым объёмом может взорваться без газа метана, если имеется источник высокой температуры, например, электрический разряд. Угольная пыль, находящаяся во взвешенном состоянии, взрывоопасна. Её площадь поверхности на единицу веса гораздо больше, чем у кусков угля, что делает её более склонной к самовозгоранию. Это свойство используется на тепловых электростанциях для сжигания угля в пылевидном состоянии, что улучшает его использование. Взрыв угольной пыли инициируется, как правило, электрическим разрядом, взрывом газа метана и другими источниками высокой температуры, обязательным наличием кислорода.

В Китае несколько лет назад вели разработку медицинской технологии очистки лёгких рабочих от угольной пыли при помощи вымывания их специальными растворами. Во время визита в одну из китайских клиник нам показали стеклянную ёмкость, в которой было примерно 3 литра жидкости черного цвета с вымытой из легких человека угольной пылью. Но как они пояснили сами, эта технология была экспериментальной.

Мы проанализировали аварии, произошедшие на угольных шахтах, которые были вызваны взрывами газа метана и угольной пыли.

В ходе исследования было изучено более тридцати различных угольных шахт, на которых произошли подобные аварии.

Этот список можно еще продолжить. Мы выбрали эти произошедшие инциденты из разных источников и хотим этим обратить внимание на то, что, несмотря на все принимаемые меры, смертельный травматизм на угольных шахтах остается высоким. Для его снижения нужны более результативные решения [5].

Подтверждением наших выводов послужило также то, что мы обнаружили при обследовании наклонного ствола шахты «7 ноября» после взрыва в нем газа метана вместе с угольной пылью, который произошел 25 мая 1985 года.

Выработка наклонного ствола закреплена металлической арочной крепью из спецпрофиля А-27, поперечное сечение выработки 27 квадратных метров. На верхняках крепи со стороны обратной движению воздушной струи находились остатки сгоревшей угольной пыли (чёрный пек). Это подтвердило то, что мелкодисперсная угольная пыль не гасится на 100% в забое и её часть уносится вентиляционной струей из забоя, а затем оседает при дальнейшем движении вентиляционной струи на элементах крепи, на стороне обратной движению вентиляционной струи, в местах снижения скорости воздушной струи.

По результатам проведённых исследований сделаны выводы о том, что все взрывы в угольных шахтах происходят

в результате взрывов газа метана во взаимодействии с угольной пылью.

Сценарий возникновения взрыва газа метана и угольной пыли происходит в следующем порядке:

— возникновение и накопление газа метана в объёмах, превышающих нормы, определённые ПБ [4];

— возникновение инициатора любого вида, способного вызвать взрыв метана при достижении высокой температуры;

— взрыв газа метана, сопровождающийся повышением температуры и ударной волной, поднимающей угольную пыль с почвы выработки и элементов её крепления;

— продвижение ударной волны, облака взвешенной угольной пыли, взрыв, последующее распространение ударной волны с многочисленными взрывами газа метана и угольной пыли;

— последующие взрывы газа метана и угольной пыли будут происходить до полного выгорания газа метана и снижения температуры;

— всё это происходит при скорости ударной волны до 1000 м/сек, что заставляет задуматься о том, что применяемые в настоящее время защитные устройства не смогут погасить взрыв газа метана и угольной пыли.

Утвержденные нормативные документы [5] не исключают 100% защиту угольных шахт от взрывов. Мелкодисперсная угольная пыль не гасится непосредственно в проходческом забое или в очистном забое, она продолжает витать в атмосфере шахты за их пределами, оседая дальше на элементах крепления горных выработок, их почве и кровле, создает риск взрывов.

В результате проведённых исследований мы предлагаем новый вариант удаления мелкодисперсной угольной пыли непосредственно из забоев.

Охарактеризуем существующие средства подачи воздуха в тупиковый забой при его проведении:

— вентиляционные трубы, изготавливающиеся из специальной ткани диаметром 600, 800, 1000, 1200 мм.

— взрывозащищённые осевые вентиляторы различной производительности, выпускаемые Невьяновским заводом горного машиностроения ВМЭ-6, ВМЭ-8, ВМЭ-12. Указанные вентиляторы имеют производительность 7 м.куб./с, 10 м.куб./с, 21 м.куб./с.

Чтобы увеличить длину проветривания проводимой выработки, вентиляторы соединяют в каскад, что позволяет повысить напор воздушного потока и удлинить проветривание до 800 метров (теоретически).

В настоящее время подготовка новых выемочных участков осуществляется спаренными выработками, длина выемочных участков достигает 2000 метров и более. Учитывая возможность того, что достижимая величина проветривания существующими средствами не превышает 700–800 метров проводимой выработки, возникает необходимость соединять эти выработки проводимой сбойкой, и проветривание их осуществлять при помощи общешахтной депрессии. После осуществления этих мер производится монтаж нового распределительного пункта и перенос вентиляторов местного проветривания на новое место в соответствии с требованиями ПБ. В зависимости от длины подготавливаемого выемочного участка этот процесс может повторяться несколько раз.

На основании проведённых нами исследований мы разработали и предлагаем схемы принципиально отличающиеся от ранее применяемых.

Нагнетательная подача воздуха в забой осуществляется осевыми вентиляторами, только уже новой конструкции с новыми характеристиками переменной производительности от 0 до 30 м/сек., за счет изменения вращения их роторов, используя как известные, так и новые разработанные способы [7, 8].

С увеличением производительности вентиляторов необходимо рассмотреть и разработать новую конструкцию вентиляционных труб, отвечающих изменившимся условиям.

С учётом производительности вентиляторов новой конструкции, необходимо расчётным путем определить возможную длину, намеченную к проведению выработки,

возможной для проветривания без переноса их на новое место. Затем на плане горных работ по рассматриваемую пласту на трассе проведения планируемой выработки указывают точку бурения вертикальной или наклонной скважины с дневной поверхности до угольного пласта. Далее следует бурение данной скважины по угольному пласту в верхней его части на границе с породами кровли пласта [2]. Бурение скважины необходимого расчетного диаметра производят с помощью колтубинговой технологии [9]. Слово «колтубинг» произошло от английского («coiled tubing» — гибкая труба) — это специальная установка с гибкой непрерывной насосно-компрессорной трубой (ГНКТ) для проведения работ по разведке, по бурению основных скважин и ремонту нефтяных и газовых скважин. В настоящее время является перспективным применение системы направленного бурения «Drilling Lateral Channels Using Coiled Tubing Directional Drilling System». Эту технологию можно применять при дегазации угольных пластов [3], а также при применении гидрорасчленения и гидроразрыва угольных пластов, что позволяет с сокращением времени и затрат бурить из ранее пробуренных скважин боковые стволы. Бурение скважин с применением колтубинговых армированных труб в настоящее время не является большой проблемой, существует более 50 различных производителей, которые по заказу могут изготовить трубы необходимого диаметра и конструкции.

Бурение скважин при помощи колтубинговых труб производится буровым двигателем, расположенным в конце трубы.

Для практического решения новой технологии комбинированного проветривания, проводимого по угольному пласту тупикового забоя, необходимо создать схему комплекта настоящей идеи конкретными механизмами, приборами и средствами связи.

В целом решение подразделяется на следующие этапы: подземная часть необходимого оборудования, поверхностная часть оборудования, — главная часть оборудования, расположенного на поверхности, обрабатывающая данные первых двух и принимающая

окончательное решение об их совместной безопасной работе.

Рассмотрим каждую часть создаваемой схемы более подробно. В подземную часть схемы (предварительно) входят следующие элементы: подземный вентилятор с необходимой аппаратурой управления, набор различных необходимых датчиков, фиксирующих работу отдельных элементов схемы по заданной программе для подземной части схемы. Блок (процессор) № 1 разработан с использованием искусственных нейросетей. Поскольку мы планируем продолжать использовать искусственные нейросети, давайте сразу разберемся, что они собой представляют [6].

Искусственная нейронная сеть (ИНС) — математическая модель, а также её программное или аппаратное воплощение. Построена по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей — сетей нервных клеток живого организма. Это понятие возникло при изучении процессов, протекающих в мозге, и при попытке смоделировать эти процессы. Первой такой попыткой были нейроновые сети У.Маккалока и У.Питтса. После разработки алгоритмов обучения получаемые модели стали использоваться в практических целях прогнозирования, для распознавания образов, в задачах управления и др. Грубо и обобщенно работу нейросети можно разделить на несколько этапов, связанных между собой. Входной сигнал сначала подается на первый слой нейронной сети. Затем нейроны с первого слоя передают информацию нейронам следующего (скрытого) слоя. На этом слое решается поставленная задача, а затем уже нейроны этого слоя передают обработанную информацию на выходной слой, где формируется полученный результат и предлагается ответ. В 1957 году нейрофизиолог Фрэнк Розенблатт разработал первую нейронную сеть, а в 2010 году были открыты возможности использования нейросетей в разных производственных и научных направлениях. [10, 11].

Необходимая аппаратура на дневной поверхности у устья скважины состоит из: поверхностного вентилятора с переменной

производительностью, который работает на всасывание и оснащен соответствующими системами управления и датчиками. Атмосфера, поступающая из скважины, подается на блок специальных устройств, обрабатывающих эту шахтную атмосферу. Первый этап — разделение на составляющих её газов, метан и другие, компрессионную их обработку и передачу их для заправки автотранспорта или в химические переработки. Вторая часть состоит из специальных механизмов для переработки угольной пыли, например, в угольные гранулы, используемые для точного литья деталей из алюминия и специального чугуна, или для решения других задач. Все данные с датчиков контроля поверхностной системы передаются на второй процессор и обрабатываются, т.е. их обрабатывает вторая автономная искусственная нейросеть. Все полученные данные о работе подземной части схемы, предварительно обработанные, с блока № 1 передаются на основной, главный поверхностный блок № 3 по линии связи, удовлетворяющей данным условиям. Таким же способом полученные данные с поверхностного блока № 2 передаются в главный поверхностный блок № 3, где они суммируются и преобразуются в новые сигналы для управления всей технологической схемой

в согласованном режиме, удовлетворяющем требованиям поставленной задачи и требованиям правил безопасности.

В результате нами созданной общей технологической схемы, включающей большое количество различной аппаратуры и датчиков, получаем множество информации, заключённой в нейросетях подземного и поверхностного блоков, с последующей передачей всей информации в итоговый блок. Этот суммирующий блок должен переработать и оценить последовательность выполнения необходимых команд по согласованию режимов работы подземной и поверхностной частей всей схемы при определении необходимых требований безопасности. Эти условия должны быть выполнены мгновенно. Такая работа может быть решена только с привлечением искусственного интеллекта [12].

Авторы статьи выражают благодарность Елене Валерьевне Колачевой заведующей сектором НТБ КузГТУ имени Т. Ф. Горбачёва, по оказанию помощи в подготовке в печать данной статьи.

Ярославу Александровичу Кадошникову — активно участвовал в подготовке и оформлении данной статьи, ученик 10 класса школы № 94, город Кемерово.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шехурдин В. К., Несмотряев В. Н., Федоренко П. И. Горное дело. М.: Недра, 1987. 440 с.
2. Данилов А. К., Левкович Е. М., Власов А. В. Горизонтальное бурение на границе сред разной категории прочности // Уголь. 2016. № 9. С. 40–43.
3. Кузин С. А., Хусинов Х. С., Ремезов А. В., Адамков А. В. Развитие технологии направленного бурения скважин // Наука и мир. 2020. № 10. С. 107–111.
4. Правила безопасности в угольных шахтах: приказ Ростехнадзора от 8 декабря 2020 года № 507 (с изменениями на 23 июня 2022 года). URL: <https://docs.cntd.ru/document/573140209> (дата обращения: 09.01.2025).
5. Рекомендации по применению средств взрывозащиты горных выработок угольных шахт, опасных по газу и (или) угольной пыли: приказ Ростехнадзора от 1 сентября 2023 года № 319. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/407549606/#review> (дата обращения: 09.01.2025).
6. Исаков В. С. Искусственный интеллект в горнодобывающей промышленности: новые возможности и преимущества // Вестник науки. 2023. Т. 4. № 2. С. 266–269.
7. Лешков Д. Д. Частотное регулирование асинхронного двигателя // Актуальные проблемы энергетики: материалы 70-й научно-технической конференции студентов и аспирантов. Минск: БНТУ, 2014. С. 297–299.
8. Однокопылов И. Г., Ляпунов Д. Ю., Воронина Н. А. [и др.] Регулирование скорости асинхронного двигателя в замкнутой системе с теристорным регулятором напряжения // Омский научный вестник. 2021. № 3. С. 64–69.

9. Корябкин В. В., Гуторов Ю. А. Опыт применения технологии горизонтального бурения на депрессии с применением колтюбинга // Нефтегазовое дело. 2012. Т. 10. № 3. С. 72–77. URL: <https://ngdelo.ru/article/view/1799> (дата обращения: 09.01.2025).

10. Рыльников М. В., Клебанов Д. А., Макеев М. А., Кадочников М. В. Применение искусственного интеллекта и перспективы развития аналитических систем больших данных в горной промышленности // Горная промышленность. 2022. № 3. С. 89–92.

11. Заенцев И. В. Нейронные сети: основные модели. Воронеж, 1999. 76 с. URL: <https://yourcmc.ru/wiki/images/5/53/Zaentsev-Neural-Networks.pdf> (дата обращения: 09.01.2025).

12. Макаренко А. В. Глубокие нейронные сети: зарождение, становление, современное состояние // Проблемы управления. 2020. № 2. С. 3–19. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42744600> (дата обращения: 09.01.2025).

DOI: 10.25558/VOSTNII.2025.73.13.005

UDC: 622.-1/4:622.23.05:622.333:622.8:504.05/06:504.75

© A. V. Remezov, A. V. Adamkov, R. R. Zainulin, 2025

A. V. REMEZOV

Doctor of Engineering Sciences Professor of Department
T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo
e-mail: lion742@mail.ru

A. V. ADAMKOV

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor
T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo
e-mail: aav_75@mail.ru

R. R. ZAINULIN

Senior Lecturer
T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo
e-mail: zrr66@mail.ru

THE INVOLVEMENT OF FINE COAL DUST IN THE EXPLOSION OF METHANE GAS AND COAL DUST

This article summarizes the results of our research on the involvement of coal dust and its fine composition in methane gas explosions involving coal dust in sufficient quantities in coal mines in Russia, as well as in coal mines in other countries. Based on the results obtained by the study, a new technology and scheme for combined ventilation of a dead-end face is proposed when it is carried out by a tunneling combine.

Keywords: COAL MINE, DEAD-END COAL FACE, VENTILATION SCHEME, DRILLING WELLS AT THE BOUNDARY OF DIFFERENT MEDIA, FINE COAL DUST.

REFERENCES

1. Shekhurdin V. K., Nesmotyaev V. N., Fedorenko P. I. Mining. Moscow: Nedra Publ., 1987. 440 p. [In Russ.].
2. Danilov A. K., Levkovich E. M., Vlasov A. V. Horizontal drilling at the boundary of media of different strength categories / Coal [Ugol]. 2016. No. 9. P. 40–43. [In Russ.].
3. Kuzin S. A., Husinov H. S., Remezov A. V., Adamkov A. V. Development of directional drilling technology // Science and the world. 2020. No. 10. P. 107–111. [In Russ.].

4. On approval of Federal Standards and Regulations in the field of industrial safety «Safety Rules in Coal Mines»: Rostekhnadzor Order No. 507 dated December 8, 2020: (as amended on June 23, 2022): registered with the Ministry of Justice of Russia on December 18, 2020 No. 61587. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573140209> (date of request: 01/09/2025). [In Russ.].
5. On approval of the Safety Manual «Recommendations for the use of explosion protection equipment for mining coal mines dangerous for gas and (or) coal dust»: Rostekhnadzor Order No. 319 dated September 1, 2023. URL: <https://www.garant.ru/pro> (date of request: 01/09/2025). [In Russ.].
6. Isakov V. S. Artificial intelligence in the mining industry: new opportunities and advantages // Bulletin of Science. 2023. Vol. 4. No. 2. P. 266–269. [In Russ.].
7. Leshkovo D. D. Frequency control of an asynchronous motor // Actual problems of energy: proceedings of the 70th Scientific and Technical Conference of Students and Postgraduates. Minsk: BNTU, 2014. P. 297–299. [In Russ.].
8. Odnokopylov I. G., Lyapunov D. Yu., Voronina N. A. [et al.] Speed control of an asynchronous motor in a closed system with a thyristor voltage regulator // Omsk Scientific Bulletin. 2021. No. 3. P. 64–69 [In Russ.].
9. Koryakin V. V., Gutorov Yu. A. The experience of using horizontal drilling technology in depressions using coiled tubing // Oil and gas business. 2012. Vol. 10. No. 3. P. 72–77. URL: <https://ngdelo.ru/article/view/1799> (date of request: 09.01.2025) [In Russ.].
10. Rylnikova M. V., Klebanov D. A., Makeev M. A., Kadochnikov M. V. Application of artificial intelligence and prospects for the development of big data analytical systems in the mining industry // Mining industry. 2022. No. 3. P. 89–92. [In Russ.].
11. Zaentsev I. V. Neural networks: basic models. Voronezh, 1999. 76 p. URL: <https://yourcmc.ru/wiki/images/5/53/Zaentsev-Neural-Networks.pdf> (date of request: 09.01.2025) [In Russ.].
12. Makarenko A.V. Deep neural networks: origin, formation, current state // Management problems. 2020. No. 2. P. 3–19. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42744600> (date of request: 09.01.2025). [In Russ.].